

疏浚粘土固结不排水应力-应变归一化特性分析

倪钧钧¹ 崔健健²

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏南京 210098;

2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210098)

【摘要】 将疏浚粘土应力-应变关系与粘性土的含水率联系起来, 对于实际工程而言具有很大的参考价值。传统重塑土应力-应变归一化特性的研究只是针对某一特定性质的土体而言, 这种归一化的研究方法显然具有一定的局限性。采用归一化含水率 w/w_L 作为归一化因子, 对主应力差渐进值进行归一化, 探讨了双对数坐标系下主应力差渐进值与 w/w_L 的线性关系。在此基础上基于 Konder 提出的双曲线模型将主应力差渐进值作为归一化因子, 对三种不同疏浚粘土的应力-应变特性进行归一化分析, 通过与实验资料的对比表明, 提出的方法具有很好的归一化效果。

【关键词】 疏浚粘土; 应力-应变; 归一化; 双曲线模型

【中图分类号】 TU 411

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.01.004

Normalized Stress-Strain Behavior of Dredged Clayey Soils in Triaxial Undrained Shear Test

Ni Junjun¹ Cui Jianjian²

(1. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu, China; 2. State Key Laboratory of

Hydrology Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu, China)

【Abstract】 It does a great reference value to link the stress-strain relationship of Dredged Clayey Soils with water content for actual projects. Traditional researches on normalized stress-strain behavior of remolded soils is just for a specific kind of soils concerned, which obviously has some limitations. The normalized factor w/w_L is introduced to normalize the ultimate value of principle stress difference, which refer to the linear relationships between the ultimate value of principle stress difference and w/w_L in double logarithmic coordinates. On this basis, the research on normalized stress-strain behavior on three different kinds of Dredged Clayey Soils, which is based on the hyperbolic model proposed by Konder and adopted the ultimate value of principle stress difference as the standard normalized factor. It shows a good normalized results by comparing with the experimental results.

【Key words】 dredged clayey soils; stress-strain; normalization; hyperbolic mode

0 引言

随着世界各国对水环境的重视以及船舶载重量和吃水深度的加大, 每年都要开展大规模的河道或港口航道疏浚工程, 从而产生大量的疏浚粘土, 在疏浚粘土造地工程中它的强度性状是设计的一个重要参数, 因而研究其应力-应变关系具有重要的工程意义。疏浚粘土是典型的重塑土, 由于受液限、初始含水率和固结压力等土性参数和实验条件的影响, 它的应力-应变关系相当复杂, 所以研究不同疏浚粘土的应力-应变关系归一化特性就显得尤为重要。

为了得到重塑土的应力-应变关系的归一化特性, 国内外很多学者都进行了大量的研究^[1-7], 其中

包括双曲线模型、抛物线模型、双折线模型等。重塑土应力-应变关系归一化效果的好坏取决于归一化因子的选择, 在 Konder^[6]提出的双曲线模型的基础上, 张勇等^[7]用主应力差渐进值 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ 作为标准归一化因子很好的归一化了武汉软土的应力-应变关系, 其效果明显好于李作勤等^[7]提出的用围压 σ_3 作为归一化因子。然而在实际的运用过程中, 这些模型都只是研究了某一特定性质重塑土的应力-应变关系归一化特性, 没有考虑土性对重塑土的应力-应变关系归一化特性的影响。本文基于传统的双曲线模型并将主应力差渐进值 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ 作为标准归一化因子对不同性质疏浚粘土固结不排水应力-应变关系的归一化特性进行了探讨与研究。

1 三轴试验结果

试验所用样为两种温州疏浚粘土以及白马湖疏浚粘土,这三种样的基本物理力学指标见表 1。在实验室内,将试样制成直径为 3.91 cm、高为 8 cm 的实心圆柱样,然后进行常规三轴试验,所用仪器为 SJ-IA. G 型三轴剪切仪。试样直接用反压进行饱和,确保试样的饱和度达到 98 % 以上;然后将试样固结到设定的压力;固结完成后进行不排水剪试验,试验剪切速率为 0.073 mm/min。

表 1 基本物理参数

试样名称	比重 G_s	液限 $w_L/\%$	含水率 $w/\%$	孔隙比
温州土 1	2.72	78.9	75.1	1.75
温州土 2	2.70	66.4	114.4	1.84
白马湖	2.76	70.1	102.0	1.80

在试验过程中,将温州土 1 和白马湖土分别在围压 25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa 下进行固结不排水剪切试验,温州土 2 在围压 50 kPa、100 kPa、150 kPa、200 kPa 下进行固结不排水剪切试验,所得的试验结果见图 1—图 3。由图可知,疏浚粘土的应力-应变关系曲线基本表现为稳定型或弱应变软化型,主应力差的增长幅度随着应变的增长逐渐变缓,与 Konder 提出的双曲线模型较为相似。

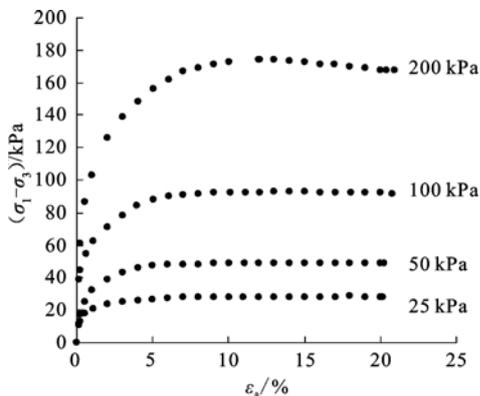


图 1 温州土 1 固结不排水应力-应变关系

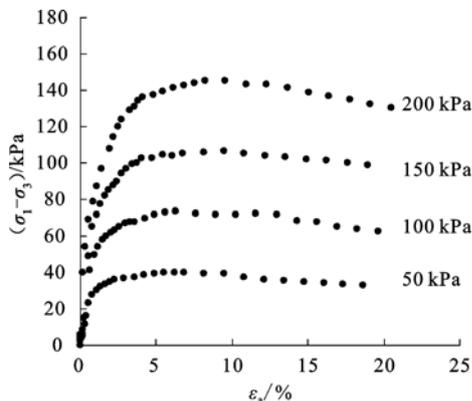


图 2 温州土 2 固结不排水应力-应变关系

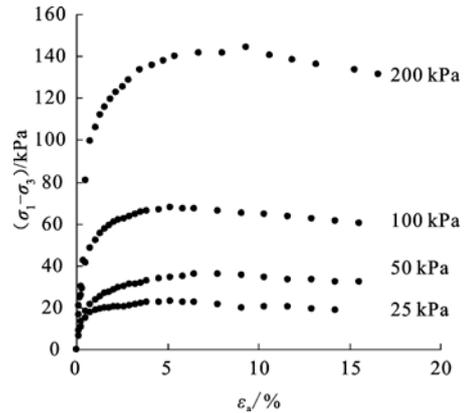


图 3 白马湖土固结不排水应力-应变关系

2 归一化特性分析

Konder 提出的双曲线方程为:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\epsilon_1}{a_i \epsilon_1 + b_i} \quad (1)$$

式中: a_i 为对应固结压力下的主应力差渐近值 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ 的倒数; b_i 为初始切线模量 E_{oi} 的倒数。

(1)式做适当的变形可得

$$\frac{\epsilon_1}{(\sigma_1 - \sigma_3)} = a_i \epsilon_1 + b_i \quad (2)$$

分别画出三种不同疏浚粘土在不同围压下 $\epsilon_1 / (\sigma_1 - \sigma_3) - \epsilon_1$ 关系曲线,并对每种试样在相应围压下的 $\epsilon_1 / (\sigma_1 - \sigma_3) - \epsilon_1$ 曲线进行线性拟合,得出 a_i 与 b_i 的值,便可求出对应固结压力下的主应力差渐近值 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ 。具体的拟合计算结果见表 2。

表 2 拟合得到的参数

土样	σ_3/kPa	a_i	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}/\text{kPa}$
温州土 1	25	0.0352	28.41
	50	0.0204	49.02
	100	0.0106	94.34
	200	0.0057	175.43
温州土 2	50	0.0288	34.72
	100	0.0146	68.49
	150	0.0102	98.04
	200	0.0072	138.89
白马湖	25	0.0402	24.88
	50	0.0232	43.10
	100	0.1190	84.03
	200	0.0061	163.93

以主应力差渐近值 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ 作为归一化因子,得到三种不同疏浚粘土在不同围压下的 $\epsilon_1 / (\sigma_1 - \sigma_3) - \epsilon_1$ 关系归一化结果见图 4。由图可知归一化效果较好,拟合得到的归一化公式为

$$\frac{\varepsilon_1}{\sigma_1 - \sigma_3} (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ulti}} = 0.9994 \varepsilon_1 + 0.3774 \quad (3)$$

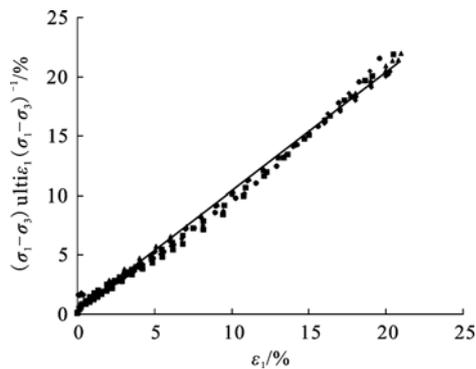


图4 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ulti}}$ 为归一化因子的 $\varepsilon_1 / (\sigma_1 - \sigma_3) - \varepsilon_1$ 曲线归一化结果

洪振舜等^[8]搜集世界各地共115种疏浚粘土样的不排水强度数据时发现,若采用破坏时的含水率与液限的比值 w/w_L 作为归一化的指标,不同液限疏浚粘土的不排水强度在双对数坐标系下具有很好的归一化特性。以此为基础,本文采用归一化含水率 w/w_L 作为归一化指标对不同液限疏浚粘土在不同围压下的主应力差渐近值 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ulti}}$ 进行归一化处理,归一化结果见表3和图5。

表3 土样固结完成后的含水率

土样	σ_3 /kPa	w /%	w/w_L
温州土1	25	66.8	0.85
	50	60.2	0.76
	100	53.4	0.68
	200	46.1	0.58
温州土2	50	53.6	0.80
	100	46.7	0.70
	150	42.9	0.64
	200	38.5	0.57
白马湖	25	57.5	0.82
	50	51.4	0.73
	100	45.7	0.65
	200	38.5	0.55

注:表中 w 表示固结完成时的土样含水率,对于三轴固结不排水试验,土样剪破时的含水率即为固结完成时的含水率。

由图5曲线回归拟合得到的关系式为

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ulti}} = 10.07 \times \left(\frac{w}{w_L} \right)^{-5.32} \quad (4)$$

将(4)式代入(3)式有

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{10.07 \times \left(\frac{w}{w_L} \right)^{-5.32} \varepsilon_1}{0.9994 \varepsilon_1 + 0.3774} \quad (5)$$

式(5)就是基于双曲线模型建立的不同液限疏浚粘土应力-应变关系的归一化方程。用该归一化方程对三种疏浚粘土在不同围压下的应力-应变曲线进行拟合,拟合的结果见图6—图8。

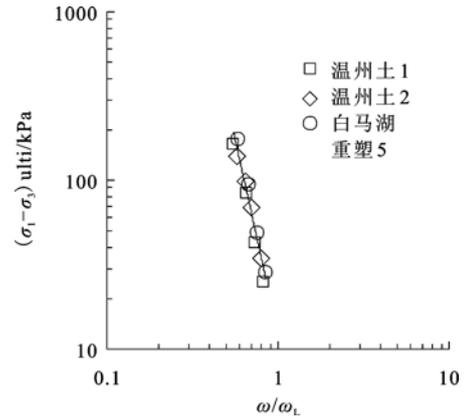


图5 疏浚粘土 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ulti}}$ 与归一化含水率 w/w_L 的关系

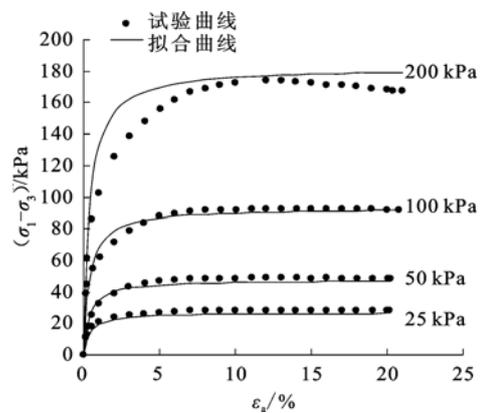


图6 温州土1拟合曲线与试验曲线

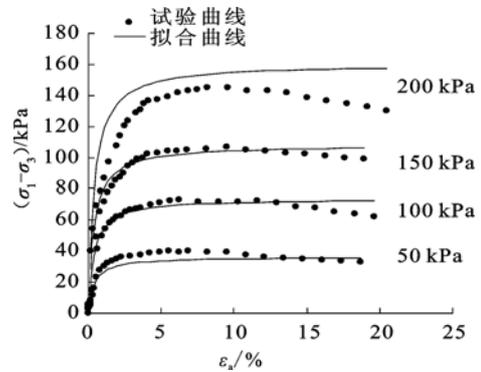


图7 温州土2拟合曲线与试验曲线

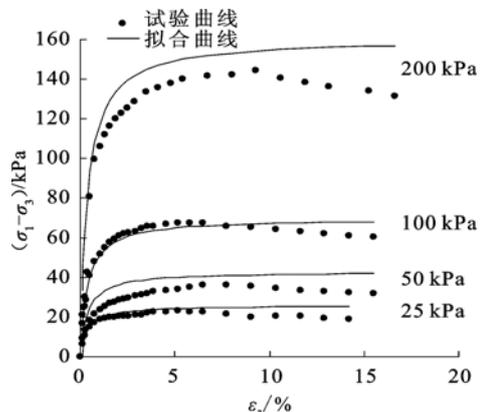


图8 白马湖土拟合曲线与试验曲线

从图中可以看出,当围压较小时,由应力-应变归一化方程得到的温州土 1、温州土 2、白马湖土的应力-应变曲线与试验得到的应力-应变曲线整体上具有较好拟合度;当围压为 200 kPa 时,拟合得到的应力-应变曲线基本都在试验得到的应力-应变曲线的上方,拟合曲线与试验曲线之间的误差稍偏大,最大误差为 17.2%,但对于岩土工程而言误差小于 25%是完全可以接受的。

拟合得到的归一化方程对于实际工程有着很大的参考价值和指导意义。只要测得此时疏浚粘土的液限和含水率便可预估土体的应力-应变曲线和不排水强度,既节省了试验的时间,又提高了效率。

3 结论

1)疏浚粘土在三轴固结不排水剪切试验中得到的应力-应变关系表现出了明显的稳定型或弱应变软化型,较符合双曲线模型的特性。基于 Konder 提出的双曲线模型并将主应力差渐进值作为归一化因子,对三种不同疏浚粘土的应力-应变特性进行归一化分析,归一化效果较为明显。

2)在洪振舜等人研究的基础上提出了采用 w/ω_L 作为归一化指标,对不同疏浚粘土在不同围压下固结不排水剪切得到的应力-应变关系中主应力差渐进值进行归一化分析,结果表明,在双对数坐标下,主应力差渐进值与 w/ω_L 表现出了良好的线性关系。

3)得到的归一化方程参数较少,形式上较为简

单。采用土体含水率与液限作为归一化模型参数,将疏浚粘土应力-应变关系与含水率联系起来,对于实际工程而言具有很大的参考价值和指导意义。

参 考 文 献

- [1] 邵军义,朱 珊. 黏性土应力应变关系的归一化弹性模量及其应用[J]. 鞍山钢铁学院学报,1997,20(4): 42-45.
- [2] 王成华,李广信. 土体应力-应变关系转型问题分析[J]. 岩土力学,2004,25(8):1185-1190.
- [3] 万玉珍,林德明. 重塑黄土的应力-应变关系[J]. 岩土工程学报,1996,18(6):106-110.
- [4] 曾国熙. 正常固结黏土不排水剪切的归一化性状[C]//软土地基处理学术讨论会论文集. 北京:水利出版社,1980:13-26.
- [5] 李作勤. 黏土归一化性状的分析[J]. 岩土工程学报,1987,9(5):67-75.
- [6] Duncan J M, Chang C Y. Nonlinear analysis of stress and strain in soils[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundation,1970(9):1629-1654.
- [7] 张 勇,孔令伟,孟庆山,等. 武汉软土固结不排水应力-应变归一化特性分析[J]. 岩土力学,2006,27(9): 1509-1513.
- [8] Hong, Z. S., Liu, H. L., Negami, T. Remolded undrained strength of soils [J]. China Ocean Engineering, 2003, 17(1): 133-142.

收稿日期:2011-11-04